

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-186657

(43)Date of publication of application : 09.07.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

(21)Application number : 09-365886

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 22.12.1997

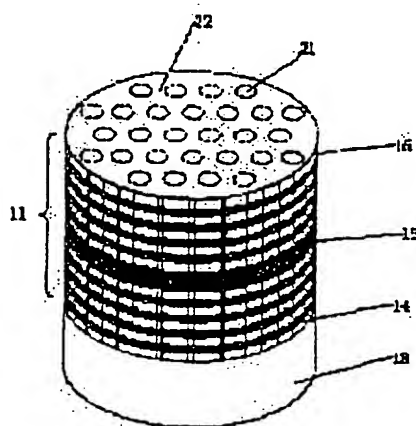
(72)Inventor : SAKATA HAJIME

## (54) VERTICAL RESONANCE LASER HAVING PHOTONIC BAND STRUCTURE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a vertical resonance laser which has a structure for controlling lights of spontaneous emission in all directions in an active layer plane in addition to the direction vertical to the active layer and is operable at a low threshold and low power consumption.

SOLUTION: This resonance laser is a verticals resonance laser formed from a compd. semiconductor. It has an active layer 11 composed of a periodic multilayer semiconductor layer with an optical resonator vertical to the active layer 11 and two-dimensional periodic structures 21, 22 provided at semiconductor layers including the active layer 11, thereby forming a photonic band gap at the oscillation wavelength in the semiconductor layer plane, including the active layer 11.



## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the perpendicular resonator laser which it comes to form from a compound semiconductor, and a barrier layer is formed from the periodic multilayer semiconductor layer. By equipping with 2-dimensional refractive-index period structure the semiconductor layer which the optical resonator is formed in the perpendicular direction of this barrier layer, and contains a barrier layer Perpendicular resonator laser which has the photonic band structure characterized by forming the optical transmission forbidden band (photonic band gap) to photogenesis wavelength in the semiconductor stratification plane containing a barrier layer.

[Claim 2] The barrier layer which consists of the aforementioned periodic multilayer is perpendicular resonator laser which has the photonic band structure according to claim 1 characterized by being the distribution feedback structure which it comes to form membranes repeatedly by a high refractive-index layer and a low refractive-index layer serving as a couple by the effective thickness of the quadrant of photogenesis wavelength, respectively.

[Claim 3] Perpendicular resonator laser which has the photonic band structure according to claim 1 or 2 characterized by establishing the field whose effective thickness is  $1/2$  of photogenesis wavelength in the center of a barrier layer which consists of the aforementioned periodic multilayer.

[Claim 4] Perpendicular resonator laser which has the claim 1 characterized by having a means to pour a current into the photogenesis field of the aforementioned barrier layer, or a photonic band structure given in either of 3.

[Claim 5] Perpendicular resonator laser which has the photonic band structure according to claim 4 to which current constriction structure is characterized by being formed the shape of a cylinder, the shape of a cone, and in the shape of a spool by etching, high resistance doping, or oxidization in order to centralize the injection exciting current by the aforementioned current injection means on a photogenesis field.

[Claim 6] Perpendicular resonator laser which has the claim 1 characterized by consisting of an III-V compound semiconductor which the aforementioned barrier layer becomes from V group elements, such as III group elements, such as B, aluminum, Ga, and In, and N, P, As, Sb, or a photonic band structure given in either of 5.

[Claim 7] The aforementioned 2-dimensional refractive-index period structure is perpendicular resonator laser which has the claim 1 characterized by being formed by making the 2-dimensional rod train by which the semiconductor layer containing the aforementioned barrier layer has been arranged in the shape of a hexagonal lattice, or a photonic band structure given in either of 6.

[Claim 8] The aforementioned 2-dimensional refractive-index period structure is perpendicular resonator laser which has the claim 1 characterized by being formed by the 2-dimensional hole train arranged in the shape of a hexagonal lattice being formed in the semiconductor layer containing the aforementioned barrier layer, or a photonic band structure given in either of 6.

[Claim 9] The aforementioned 2-dimensional refractive-index period structure is perpendicular resonator laser which has the claim 1 characterized by being formed by making the 2-dimensional rod train by which the semiconductor layer containing the aforementioned barrier layer has been arranged in the shape of a tetragonal lattice, or a photonic band structure given in either of 6.

[Claim 10] The aforementioned 2-dimensional refractive-index period structure is perpendicular resonator laser which has the claim 1 characterized by being formed by the 2-dimensional hole train arranged in the shape of a

tetragonal lattice being formed in the semiconductor layer containing the aforementioned barrier layer, or a photonic band structure given in either of 6.

[Claim 11] The aforementioned 2-dimensional rod train is perpendicular resonator laser which has the photonic band structure according to claim 7 or 9 characterized by filling up with the periphery with air, nitrogen, polymeric materials, or the dielectric.

[Claim 12] The aforementioned 2-dimensional hole train is perpendicular resonator laser which has the photonic band structure according to claim 8 or 10 characterized by filling up with air, nitrogen, polymeric materials, or the dielectric.

[Claim 13] The polymeric materials which constitute the aforementioned filler are perpendicular resonator laser which has the photonic band structure according to claim 11 or 12 characterized by being a polyimide.

[Claim 14] The dielectric which constitutes the aforementioned filler is perpendicular resonator laser which has  $\text{SiN}_x$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{aluminum}_2\text{O}_3$ , and the photonic band structure according to claim 11 or 12 characterized by being  $\text{MgO}$  or  $\text{SiO}_2$ .

[Claim 15] The spacing between centers which each rod arranged the aforementioned shape of a hexagonal lattice and in the shape of a tetragonal lattice or each hole adjoins is perpendicular resonator laser which has the claim 7 characterized by designing  $1/2$  of the effective lengths of photonic wavelength as a standard, or a photonic band structure given in either of 14.

---

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-186657

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月9日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

H 0 1 S 3/18

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数15 F D (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-365886

(22) 出願日 平成9年(1997)12月22日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 坂田 肇

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

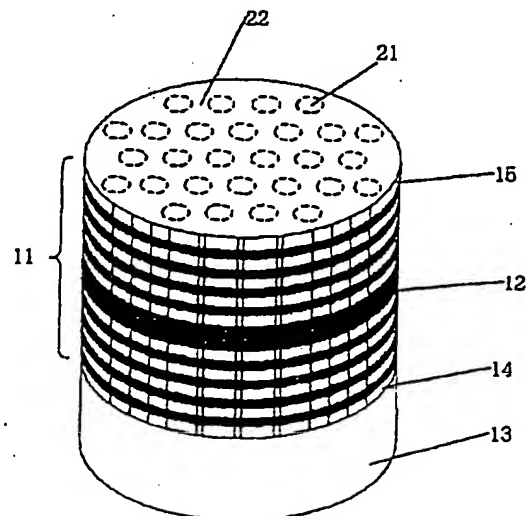
(74) 代理人 弁理士 加藤 一男

(54) 【発明の名称】 フォトニックバンド構造を有する垂直共振器レーザー

(57) 【要約】

【課題】 活性層の垂直方向に加えて、活性層面内全方向にも自然放出光を制御する構造を備えて低閾値で低消費電力の動作を可能とするフォトニックバンド構造を有する垂直共振器レーザーである。

【解決手段】 フォトニックバンド構造を有する垂直共振器レーザーは、化合物半導体から形成されてなる垂直共振器レーザーである。活性層11が周期的多層膜半導体層から形成されていることで、光共振器が活性層11の垂直方向に形成されている。活性層11を含む半導体層に二次元屈折率周期構造21、22を備えていることで、活性層11を含む半導体層面内には発光波長に対して光学的伝播禁止帯(フォトニックバンドギャップ)が形成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】化合物半導体から形成されてなる垂直共振器レーザであって、活性層は周期的多層膜半導体層から形成されていることで、光共振器が該活性層の垂直方向に形成されていて、且つ、活性層を含む半導体層に二次元屈折率周期構造を備えていることで、活性層を含む半導体層内には発光波長に対して光学的伝播禁止帯（フォニックバンドギャップ）が形成されていることを特徴とするフォニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項2】前記周期的多層膜からなる活性層は高屈折率層および低屈折率層がそれぞれ発光波長の4分の1の実効的厚さで一組となって繰り返し成膜されてなる分布帰還構造であることを特徴とする請求項1記載のフォニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項3】前記周期的多層膜からなる活性層の中心に、実効的厚層が発光波長の2分の1である領域を設けることを特徴とする請求項1または2記載のフォニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項4】前記活性層の発光領域に電流を注入する手段を有することを特徴とする請求項1乃至3の何れかに記載のフォニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項5】前記電流注入手段による注入励起電流を発光領域に集中させるため、電流狭窄構造が、エッチング、高抵抗ドーピング、もしくは酸化により、円筒状、円錐状、もしくは糸巻き状に形成されていることを特徴とする請求項4記載のフォニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項6】前記活性層がB、Al、Ga、InなどのIII族元素および、N、P、As、SbなどのV族元素からなるIII-V化合物半導体で構成されることを特徴とする請求項1乃至5の何れかに記載のフォニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項7】前記二次元屈折率周期構造は、前記活性層を含む半導体層が六方格子状に配置された二次元ロッド列をなしていることで形成されていることを特徴とする請求項1乃至6の何れかに記載のフォニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項8】前記二次元屈折率周期構造は、前記活性層を含む半導体層内に六方格子状に配置された二次元ホール列が形成されることで形成されていることを特徴とする請求項1乃至6の何れかに記載のフォニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項9】前記二次元屈折率周期構造は、前記活性層を含む半導体層が正方格子状に配置された二次元ロッド列をなしていることで形成されていることを特徴とする請求項1乃至6の何れかに記載のフォニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項10】前記二次元屈折率周期構造は、前記活性

層を含む半導体層内に正方格子状に配置された二次元ホール列が形成されることで形成されていることを特徴とする請求項1乃至6の何れかに記載のフォニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項11】前記二次元ロッド列は、空気、窒素、高分子材料、もしくは誘電体によって周囲が充填されていることを特徴とする請求項7または9記載のフォニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項12】前記二次元ホール列は、空気、窒素、高分子材料、もしくは誘電体によって充填されていることを特徴とする請求項8または10記載のフォニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項13】前記充填材を構成する高分子材料はポリイミドであることを特徴とする請求項11または12記載のフォニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項14】前記充填材を構成する誘電体はSiN<sub>x</sub>、AlN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、SiO<sub>2</sub>のいずれかであることを特徴とする請求項11または12記載のフォニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項15】前記六方格子状もしくは正方格子状に配置された各ロッドもしくは各ホールの隣り合う中心間隔は、発光波長の2分の1の実効的長さを目安として設計されていることを特徴とする請求項7乃至14の何れかに記載のフォニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、所定波長の光の発生や伝播が二次元ないし三次元の空間において制御される構造、即ち光の波長程度の周期の屈折率周期構造であるフォニック結晶のいわゆるフォニックバンド構造を利用して、光放射特性を制御したレーザ光源等に関するものである。

【0002】

【発明の属する技術分野】従来、放射波長を制御し、且つ発振閾値を低減させる構造として、例えば、図5に示すような一対の多層膜反射鏡61、62を活性層63を挟んで基板64の垂直方向に設けた垂直共振器レーザが知られている。その中で、2つの多層膜反射鏡61、62の間隔（実効的共振器長）を放射波長程度としたレーザ構造は自然放出光の制御まで可能ないわゆる微小共振器レーザの一種としても知られている。このとき、活性層63から放射される光は、多層膜反射鏡61、62間で共振されるモードと結合して、基板64の上下方向に放出される。

【0003】上記した従来の垂直共振器レーザでは、活性層63からの自然放出光のうち活性層面内方向の光に対しては光共振器効果もなく、自然放出光の大半が損失となる。そのため、Japanese Journal of Applied Phys

ics 30, L602(1991)などでは発光領域の周囲を金で被覆することで、活性層面内水平方向に放出した光を発光領域に反射して戻す構造が工夫されていた。また、特開平08-213711号公報では、フォトニック構造を有するマイクロキャビティ光源において一対の共振鏡に挟まれた活性層を同心円状として、活性層面内方向の発光制御を行おうとする構成が開示されている。

【0004】

【発明が解決しようとしている課題】しかしながら、発光領域の周囲を金属膜で覆う水平方向の光閉じ込めは、レーザ放射波長を制御した垂直方向への光閉じ込めと比較すると、自然放出光の制御までは不可能であり、発光領域壁面でのエネルギー損失も無視できない。これは、発光領域の直径が通常10 $\mu$ m程度と放射波長に比べて大きいこと、一度放出した光の再利用しかできないこと、円筒状あるいは円錐状の発光領域側面は滑らかでなく、金属反射をもってしても散乱による損失が避けられないこと、などによる。

【0005】また、特開平08-213711号公報の同心円状活性層による放射光制御は、各同心円の法線方向にしか有効でなく、完全な面内自然放出光制御は困難である。

【0006】そのため、従来の構造では、活性層内部のエネルギーは垂直方向の光共振器から横方向へ漏れ出すため、すべての放出光を基板上方（あるいは下方）から取り出せず、光の損失は避けられなかった。このことが、光源の発振閾値の上昇、消費電力の増大を招いていた。

【0007】従って、本発明の目的は、活性層の垂直方向に加えて、活性層面内全方向にも自然放出光を制御する構造を備えることによって、発光の方向が制限ないし制御され、且つ低閾値で低消費電力の動作を可能とするフォトニックバンド構造を有する垂直共振器半導体レーザを提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明のフォトニックバンド構造を有する垂直共振器レーザは、化合物半導体から形成されてなる垂直共振器レーザであって、活性層が周期的多層膜半導体層から形成されていることで、光共振器が該活性層の垂直方向に形成されていて、且つ、活性層を含む半導体層に二次元屈折率周期構造を備えていることで、活性層を含む半導体層内には発光波長に対して光学的伝播禁止帯（フォトニックバンドギャップ）が形成されていることを特徴とする。

【0009】より具体的には以下の様にもできる。前記周期的多層膜からなる活性層は高屈折率層および低屈折率層がそれぞれ発光波長の4分の1の実効的厚さで一組となって繰り返して成膜されてなる分布帰還構造である。発光の活性層として寄与するのは、一般にバンドギャッ

プの狭い高屈折率層側である。但し、各層の厚さが100nm以下になると量子効果が生じてくるため、高屈折率層（狭いバンドギャップ）が量子井戸として働き、低屈折率（広いバンドギャップ）が量子障壁として機能することもある。このときは多層膜活性層が、光学的反射膜の役目に加えて、多重量子井戸層として振る舞うことになる。

【0010】また、前記周期的多層膜からなる活性層の中心に、実効的層厚が発光波長の2分の1である領域を設けると、光共振器の帰還位相がブラッグ波長で一致するため、ブラッグ波長を中心に鋭い発振ピークが得られる。この状態では、直接変調をかけたときにも発振モードが安定化する効果がある。

【0011】また、前記活性層を含む半導体層の二次元屈折率周期構造は、六方格子状、正方格子状などに配置された二次元ロッド列をなしていたり、前記活性層を含む半導体層内に六方格子状、正方格子状などに配置された二次元ホール列が形成されることで形成されている。前記二次元ロッド列は、空気、窒素、高分子材料（ポリイミドなど）、誘電体（SiN<sub>2</sub>、AlN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、SiO<sub>2</sub>など）等によって周囲が充填されていたり、前記二次元ホール列は、空気、窒素、高分子材料（ポリイミドなど）、誘電体（SiN<sub>2</sub>、AlN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、SiO<sub>2</sub>など）等によって充填されていたりする。

【0012】また、前記活性層の発光領域に電流を注入する電極などの手段を有し、この電流注入手段による注入励起電流を発光領域に集中させるため、電流狭窄構造が、エッチング、高抵抗ドーピング、酸化（酸化により高抵抗になると共に屈折率が低下する）などにより、円筒状、円錐状、糸巻き状等に形成されている。

【0013】また、前記六方格子状もしくは正方格子状に配置された各ロッドもしくは各ホールの隣り合う中心間間隔は、発光波長の2分の1の実効的長さ程度で設計されている。前記活性層はB、Al、Ga、InなどのIII族元素およびN、P、As、SbなどのV族元素からなるIII-V化合物半導体で構成される。

【0014】本発明によれば、誘導放出光を得る基板垂直方向は、周期的多層膜からなる活性層自体で光共振器が構成される。このとき、活性層の発光波長帯域（すなわち、利得帯域）の範囲内で、上記分布帰還構造で決定されるブラッグ波長帯域に含まれる波長において発振が生じる。一方、活性層を含む面内には、活性層の発光波長帯に合わせて、二次元の屈折率ないし誘電率の適当な周期構造を形成することで、光の伝播が阻止されるいわゆるフォトニックバンドギャップ（光学的伝播禁止帯であり、波長のオーダーで誘電率を周期的に変動させるとき、電磁波は或る周波数領域で固有モードを持たず、この周波数領域をフォトニックバンドギャップと呼ぶ）を形成している。そのため、面内方向に対しては、自然放

出光も制限されて、エネルギーの横方向への漏洩を抑圧できる。その結果、光共振器内部の光に対して、面内方向は二次元フォトリックバンド構造で、垂直方向は分布帰還構造からなる活性層自体のいわば一次元のフォトリックバンド構造で、発光を制限ないし制御することにより、高い効率によるレーザ光放射を実現できる。

【0015】

【発明の実施の形態】本発明の実施形態を説明する前に、本発明の原理の技術背景を説明する。近年、誘電率の三次元的周期構造を人工的に創生して、あたかも結晶中の電子の振る舞いと同様に、電磁波の振る舞いを制御する材料構造が注目されている。上述した様に、このような人工構造はフォトリック結晶と呼ばれ、この構造に起因する光波長に相当する電磁波バンドをフォトリックバンドと称している。フォトリックバンド構造が注目される理由は、従来不可能であった光子の完全な空間的制御が可能になるところにある。たとえば、レーザへの応用にあたっては、自然放出光の制御まで可能なため、閾値の極めて小さい（理論的には閾値の存在しなくなる）極低閾値レーザが可能となる。レーザ光の出力や波長は、温度変化に対して変動の小さなものとなる。また、全空間に対して光の放射を制御できるので電気-光エネルギー交換効率に極めて優れる。言い換えると、低消費電力のレーザが可能となる。さらに、空間的な光波の結合、切換え、分岐、合流を行う光カップラ、光スイッチなどへの応用にも適する。加えて、光波長制御を本質的にともなうため、波長選択性を有するフィルタ、分波器、波長ルータ（add-drop filter）などの性能向上、機能拡張にも効果が大きい。また、光子密度を意図的に高くできるため、非線形効果を強調した素子の開発も期待できる。

【0016】ただし、三次元フォトリック結晶として光波長に合わせた誘電率変化をたとえば面心立方格子状などに形成するとすると、現在の微細加工技術、選択成長技術などをもってしても困難である。それと比較して、二次元のフォトリック結晶、すなわち直交する3方向のうち1方向へは誘電率が一樣な構造は、二次元平面の微細加工や選択成長で実現できる。

【0017】本発明によるフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザの実施形態の構成、動作原理について、図1および図2を用いて説明する。

【0018】二次元結晶構造では、5の異なる型のブラベ格子が存在するが、面内のどの方向へも共通にフォトリックバンドギャップを開けることが可能な構造としては、六方格子もしくは正方格子が適する。たとえば、六方格子においては、図2に示すように、菱形を基本とした各格子点に、ロッド（中実のもの）もしくはホール（中空のもの）21を作り付けることで誘電率変化を与える。光波長 $\lambda$ でのバンドギャップ構造を得るため、格子点（ロッドもしくはホールの中心点）の間隔 $a$ は以下

の(1)式で表される。ここで、誘電率は屈折率で置き換え、 $n_{eff}$ は平均の屈折率を示している。

$$[0019] a = \lambda / (2 n_{eff}) \quad (1)$$

ここで、ロッドもしくはホール21の断面形状を円形とすると、平均の屈折率 $n_{eff}$ は、円形領域の屈折率 $n_1$ とその周囲を占めている領域22の屈折率 $n_2$ とで(2)式のように表される。ここで、パラメータ $f$ は円形領域の占有率であり、 $r$ を円形領域の半径とすると、(3)式のように表される。

$$[0020]$$

$$n_{eff} = n_2 f + n_1 (1 - f) \quad (2)$$

$$f = (2 \pi r^2) / (\sqrt{3} a^2) \quad (3)$$

この六方格子構造を用いて、二次元フォトリック結晶のブリルアンゾーンのあらゆる方向にわたって光波のモードが生じないエネルギー領域、すなわち、フォトリックバンドギャップを形成する。上記仮定の下では、円形領域21の占有率、および、円形領域21とその周囲領域22の屈折率差によってフォトリックバンドギャップは決定される。フォトリックバンド構造は等方的でないため、光波の偏光に依存するが、上記パラメータの設定で各偏光に対して共通のフォトリックバンドギャップを形成可能である。

【0021】以上のような二次元構造によるフォトリックバンドギャップを活性層の光学的利得帯域に合致させて創生することで、活性層面内方向への自然放出は抑制される。この状態で、図1に示すように、活性層11に垂直な方向への自然放出を分布帰還構造で制御し、任意の波長の光波のみを誘導放出すれば、完全に放出制御したレーザが実現できる。周期的多層膜からなる活性層11は、屈折率の異なる一組の半導体層を積層したものである。この周期的層構成は、言ってみれば、一次元のフォトリックバンド構造を形成している。従って、本発明による二次元フォトリックバンド構造と分布帰還活性層の組み合わせによる構造は、擬似的な三次元フォトリックバンド構造をなしているとも言える。

【0022】多層膜活性層11の各層厚 $d_i$ は、波長 $\lambda$ 、屈折率 $n_i$ に対して、以下のように表される。但し、下付き $i$ は高屈折率層(H)もしくは低屈折率層(L)を示している。

$$d_i = \lambda / (4 n_i) \quad (4)$$

分布帰還活性層11は、二次元フォトリックバンド構造で貫かれていて、分布帰還活性層11の中心層付近に位相差部12を形成することで、周期構造によるブラッグ反射帯域内の特定波長で透過波長が決定され、そのほかの波長においては、光の放出が許されない。従って、基板垂直方向の透過波長に、活性層の全エネルギーが集中し、誘導放出が実現される。

【0023】第1実施例

図1を用いて製造法を説明しながら第1実施例の構造を説明する。本発明による第1の実施例のレーザは、1 n



P基板13上に、200nm厚InGaAsエッチングストップ層14、93nm厚InGaAsP(バンドギャップエネルギー波長 $\lambda_g=1.4\mu\text{m}$ )と98nm厚InGaAsP( $\lambda_g=1.15\mu\text{m}$ )50ペアからなる周期的多層膜活性層11、100nm厚InPクラッド層15を成長する。周期的活性層11の中心層12は186nm厚のInGaAsP( $\lambda_g=1.4\mu\text{m}$ )からなっている(これらの組成および各層の厚さの決定は下記の発振波長などを用いて行なわれる)。

【0024】次に、クラッド層15表面にSiO<sub>2</sub>を成膜した後、フォトリソストを塗布し、図2に示すような半径130nmの円形パターン21を中心間隔325nmの六方格子状に形成するための電子ビーム露光を行う(これらの数値の決定は上記式(1)、(2)、

(3)に本実施例で得られる平均屈折率などの数値を入れて行なわれる)。現像後形成されたフォトリソストマスクを、SiO<sub>2</sub>膜に反応性イオンエッチングで転写する。こうしてできたSiO<sub>2</sub>マスクをもとに、反応性イオンビームエッチングを用いて活性層11およびクラッド層15のホールエッチングを行う。二次元ホール列21を形成後、SiO<sub>2</sub>膜を除去する。22は二次元ホール列21の周囲領域である。

【0025】こうして作製した図1に示すようなレーザに対して、例えば側面から、波長1.2 $\mu\text{m}$ の励起光を照射したところ、基板13垂直方向へ波長1.3 $\mu\text{m}$ のレーザ発振が観測された。波長1.2 $\mu\text{m}$ の励起光は、光子エネルギーの関係で、周期的多層膜活性層11のInGaAsP層( $\lambda_g=1.15\mu\text{m}$ )には吸収されず主に周期的多層膜活性層11のInGaAsP層( $\lambda_g=1.4\mu\text{m}$ )に吸収されて、このバンドギャップエネルギー波長1.4 $\mu\text{m}$ より若干短い波長1.3 $\mu\text{m}$ のレーザ発振を起こすものである。

#### 【0026】第2実施例

図3を用いて本発明による第2の実施例を説明する。第2実施例によるレーザは、n-GaAs基板41上に、互いに $\lambda/4$ 厚を有するアンドープIn<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>As層とアンドープGaAs層とが交互に積層されていて、中心層のみ $\lambda/2$ 厚のアンドープのIn<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>As/GaAs多重量子井戸層からなる多層膜活性層42、100nm厚のp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asクラッド層43を成長する。ついで、前記実施例と同様、二次元ホール列44を活性層42およびクラッド層43に形成する。

【0027】一方、上記と同様にして別個のアンドープのGaAs基板(不図示)上に、100nm厚のAlAsエッチングストップ層、50nm厚のp-GaAsキャップ層45、100nm厚のp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asクラッド層46を成長する。ここで、以上のようにして成長を行ったアンドープのGaAs基板およびn-GaAs基板41を10%弗素水に数秒浸漬し、水洗、乾燥

した後、成長面同士の結晶軸を揃えて向かい合わせに圧着する。基板接合は、印加荷重100kg/cm<sup>2</sup>で160℃加熱の下、4時間の圧着を施して得られる。この工程は、二次元ホール列44を持つクラッド層43と活性層42の上にそのままキャップ層等を成長するとホールに材料が入ってしまうので行なわれるものである。

【0028】次に、n-GaAs基板41裏面をSiO<sub>2</sub>膜で保護した後、アンドープGaAs基板側を研磨して100 $\mu\text{m}$ 程度の厚さに薄くする。硫酸+過酸化水素+水からなるエッチング液でアンドープGaAs基板をエッチング除去した後、AlAsエッチングストップ層を除去し、p-GaAsキャップ層45を露出させる。

【0029】次に、電流狭窄構造を作製する為に、直径15 $\mu\text{m}$ の円筒状にp-GaAsキャップ層45から多層膜活性層42の途中までを反応性イオンビームエッチングで除去する。SiN<sub>x</sub>膜401を絶縁層として施し、ポリイミド402で埋めた後、セルフアラインメントの手法で円筒上部のp-GaAsキャップ層45を露出させて、電極403を成膜する。同様に、n-GaAs基板41裏面にも、例えば、リング状の電極404を成膜した後、オーミック接触を得るための熱拡散を行う。

【0030】こうして作製したレーザは、閾値1mA以下で波長0.98 $\mu\text{m}$ の光を発振し、平均出力光強度は数mA程度であった。発振光の近視野像を観察したところ、ほぼ上面電極403の円形パターンと同様であり、周囲からの光の漏出は観測できなかった。

#### 【0031】第3実施例

本発明の第3の実施例では、活性層を含む半導体層をロッド列に微細加工してその周囲をポリイミドで埋めている。ただし、円形領域(活性層を含む半導体層の部分)が高屈折率で、周囲(ポリイミドの部分)が低屈折率であるため、それに合わせて発光波長がフォトリソニックバンドギャップ内に来る様にロッド間隔および円形領域の半径は調整してある。また、半導体ロッド頭部が露出するように、酸素プラズマによるポリイミドのアッシングを軽く行う。その他の構成は、第2実施例と同様である。

#### 【0032】第4実施例

図4を用いて、第4の実施例を説明する。n-InP基板51上に、各層が $\lambda/4$ 厚、中心層 $\lambda/2$ 厚のアンドープInGaAsP( $\lambda_g=1.55\mu\text{m}$ )/InP50ペアからなる分布帰還活性層52、100nm厚のp-InPクラッド層53、100nm厚のp-InGaAsPキャップ層54を成長する。ついで、第2実施例と同様、二次元ホール列55を活性層52およびクラッド層53に形成する。ホール55内は、第3実施例と同様、ポリイミドで充填し、キャップ層54を露出させる。

【0033】続いて、二次元ホール列55の形成された多層膜活性層52を円筒形状に取り囲むように、n-In

nP基板51までエッチングを行う。そして、SiO<sub>2</sub>保護層を円筒形部の上面に形成し、その周囲を高抵抗InP56で埋め込み成長する。次に、電極501を円形のキャップ層54に覆いかぶさるように形成する。同様に、n-InP基板51裏面にも電極502を成膜した後、オーミック接触を得るための熱拡散を行う。

【0034】こうして作製したレーザは、前記実施例と同様、低閾値で発振し、電流-光出力効率も高かった。

【0035】ところで、垂直共振器レーザでは、上記実施例で述べたエッチングの他、注入電流を集中させるため、高抵抗ドーピング、あるいは酸化などの手法により、同様に円筒状あるいは糸巻き状に電流狭窄構造を作製可能である。

【0036】また、以上の実施例では、波長1.0μm～1.5μm帯を中心にして説明したが、本発明の考え方は他の波長帯でも同様に実現可能である。たとえば、0.3μmから0.5μm帯では、AlGaIn/GaNの活性層で、0.6μm帯ではInAlGaPの活性層で、0.7μmから0.9μm帯ではAlGaAs/GaAsの活性層でいずれも実現可能である。さらに、1.0μm～1.5μm帯では、GaInNAs/InPやGaInNAs/GaAsなどの活性層も使用可能である。

【0037】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、以下のような効果が得られる。すなわち、レーザ活性媒質からの発光を3次元空間で制御することで、発振閾値を低減し、且つ、高効率なレーザ動作を得ることができる。こういった低電力動作レーザは、光通信、光インタコネクションなどに用いられる伝送用光送信器を構成する上で不可欠なものである。さらに、個々のレーザ素子の消費電力を低減できることは、そのことだけでなく、熱発生の問題も軽減され、2次元アレイレーザあるいは電子回\*

\*路と一体となった光電子集積回路を構成する上で極めて効果大きい。光アレイあるいは光集積素子は、光応用センシング、光情報処理、ディスプレイ、光記録などに用いられるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は本発明によるフォトニックバンド構造を有する第1実施例の垂直共振器半導体レーザを表す構造概略斜視図である。

【図2】図2は本発明によるフォトニックバンド構造を有する垂直共振器半導体レーザの二次元フォトニック結晶の単位セルとブリルアンゾーンを表す図である。

【図3】図3は本発明の第2実施例および第3実施例を示すフォトニックバンド構造を有する垂直共振器半導体レーザを表す構造概略断面図である。

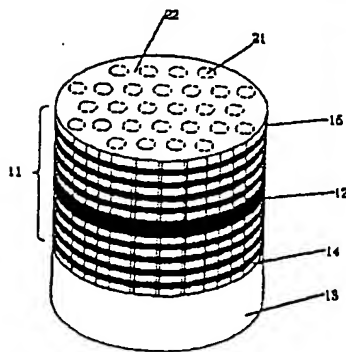
【図4】図4は本発明の第4実施例を示すフォトニックバンド構造を有する垂直共振器半導体レーザを表す構造概略断面図である。

【図5】図5は従来例を表す構造概略図である。

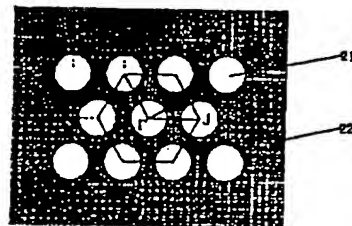
【符号の説明】

- 11、42、52・・・分布帰還構造を有する活性層
- 12・・・半波長シフト層
- 13、41、51、64・・・基板
- 14・・・エッチングストップ層
- 15、43、46、53・・・クラッド層
- 21、44、55・・・二次元ロッド列もしくはホール列
- 22・・・ロッド列もしくはホール列の周囲領域
- 45、54・・・キャップ層
- 56、401、402・・・絶縁層
- 61、62・・・多層膜反射鏡
- 63・・・活性層
- 403、404、501、502・・・電極

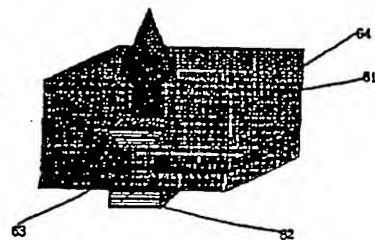
【図1】



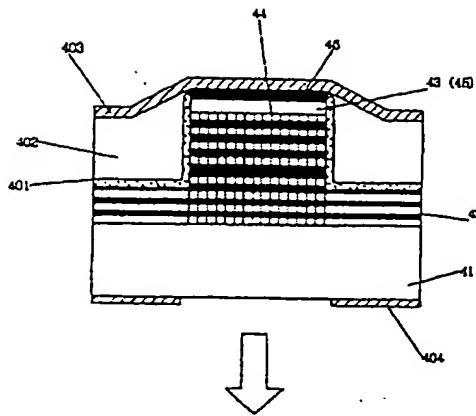
【図2】



【図5】



【図3】



【図4】

